66-

N

(19)日本国特許庁（JP）　(12)公開特許公報（A）　(11)特許出願公開番号

特開平10－319343

(43)公開日　平成10年(1998)12月4日

(51)Int. Cl.⁶　識別記号　FI

G02B　27/02　　G02B　27/02　Z

5/32　　5/32

H04N　5/64　511　　H04N　5/64　511　A

審査請求　未請求　請求項の数12　OL　（全7頁）

(21)出願番号　特願平9-128540

(22)出願日　平成9年(1997)5月19日

(71)出願人　000005496
富士ゼロックス株式会社
東京都港区赤坂二丁目17番22号

(72)発明者　小笠原　康裕
神奈川県足柄上郡中井町境430　グリーンテクなかい富士ゼロックス株式会社内

(72)発明者　友野　孝夫
神奈川県足柄上郡中井町境430　グリーンテクなかい富士ゼロックス株式会社内

(72)発明者　上柳　喜一
神奈川県足柄上郡中井町境430　グリーンテクなかい富士ゼロックス株式会社内

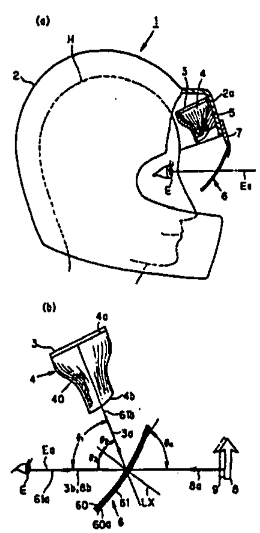
(74)代理人　弁理士　平田　忠雄

(54)【発明の名称】ヘッドマウンテッドディスプレイ

(57)【要約】

【課題】　小型で高解像度化が図れ、カラー化が容易なヘッドマウンテッドディスプレイを提供する。

【解決手段】　画像供給装置から画像信号がLCD3に供給されると、LCD3は、バックライトに基づいて、画像信号に応じた表示光3aを出射する。この表示光3aは、FOP4によって伝送され、出射端面4bに中間像として結像する。出射端面4bの中間像は、発散光となってレンズ作用を有するホログラムコンバイナ6によって略平行光束の回折光3bにされて装着者の眼Eに入射する。光景8の外界光8aは、ホログラムコンバイナ6を透過して透過光8bとして装着者の眼Eに入射する。従って、装着者は、無限遠にLCD3からの表示光3aに基づく平面の虚像9を外界の光景8に重畳して観察することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】画像表示光を出射する画像表示手段と、前記画像表示手段からの前記画像表示光を縮小して出射端面から出射する光ファイバー束と、前記光ファイバー束の前記出射端面からの前記画像表示光を回折あるいは反射させて前記装着者の眼に導き、前記装着者に前記画像表示光に基づく虚像を視認させる眼前光学手段を備えたことを特徴とするヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項2】前記眼前光学手段は、外界光を前記装着者の眼に導く構成の請求項1記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項3】前記眼前光学手段は、透明あるいは半透明のガラス，プラスチック等からなる基板と、前記基板の主面に形成されたホログラム膜を備えた構成の請求項1記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項4】前記眼前光学手段は、前記装着者の視軸に対して45度の角度で配置され、前記光ファイバー束からの前記画像表示光を反射させて前記装着者の眼に導くミラーである構成の請求項1記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項5】前記眼前光学手段は、前記装着者の眼に凹面を向けて配置された凹面ミラーと、前記装着者の視軸に対して45度の角度で配置され、前記光ファイバー束からの前記画像表示光を前記凹面ミラーへ反射させてその凹面ミラーで反射した前記画像表示光を前記装着者の眼に導くミラーを備える構成の請求項4記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項6】前記光ファイバー束は、前記出射端面が前記虚像の収差を補正する所定の形状を有する構成の請求項1記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項7】前記光ファイバー束は、入射端面が前記画像表示手段の表示画面に密着した構成の請求項1記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項8】前記光ファイバー束は、前記光ファイバー束を構成する光ファイバーの数が前記画像表示手段の画素数より多い構成の請求項1記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項9】前記画像表示手段は、カラーの前記画像表示光を出射する構成の請求項1記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項10】前記画像表示手段は、カラーの前記画像表示光を出射し、前記ホログラム膜は、前記カラーの前記画像表示光に対応してホログラムが記録された構成の請求項3記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項11】前記画像表示手段は、液晶ディスプレイ、ELディスプレイ、プラズマディスプレイ、あるいはマイクロマシン技術によって作製されたマイクロ可動ミラーを用いたディスプレイからなる構成の請求項1記載のヘッドマウンテッドディスプレイ。

【請求項12】前記画像表示手段、前記光ファイバー束、および前記眼前光学手段は、ゴーグルあるいはヘルメットに取り付けられた構成の請求項1記載ヘッドマウンテッドディスプレイ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ゴーグル型、ヘルメット型等のヘッドマウンテッドディスプレイに関し、特に、小型で高解像度のヘッドマウンテッドディスプレイに関する。

【0002】

【従来の技術】頭部に装着して画像を見ることのできる小型画像表示装置として、例えば、ヘッドマウンテッドディスプレイ（HMD）が知られている。このHMDは、液晶ディスプレイ（LCD）等に代表される表示素子からなる画像表示部と、収差補正と拡大機能を備えたレンズとミラーからなる画像伝送部とを眼前に配置し、これらの画像表示部と画像伝送部とをベルト等の装着機構で頭部に固定するものである。動画像を画像表示部の表示素子で表示すると、この表示された動画像は、画像伝送部のレンズとミラーが有する収差補正と拡大機能によって見やすい場所に大画面の仮想スクリーンで表示され、装着者に視認される。

【0003】この種のHMDは、航空機用として高度、速度等の飛行情報を表示するものから、個人シアタ用として映画、テレビゲーム、人工現実感を表示するものが開発され、製品化されている。また、最近では、携帯型コンピュータ（wearable computer）用のディスプレイとしての研究も始まっている。

【0004】このようなHMDには、外界を見ることのできるシースルー型と、外界を見ることのできないクローズ型がある。人工現実感を表示する場合は、クローズ型の方が好ましい場合もあるが、携帯用としては大抵の場合、シースルー型の方が向いている。シースルー型のHMDは、上記画像表示部および画像伝送部の他に、シースルー機能を有するビームコンバイナを備える。このビームコンバイナは、特定の波長に対して鋭い波長選択性があり、その波長のみを反射あるいは回折させることができるため、特定の波長の100％の画像表示光とその波長を除いた100％の外界光を重ねて見ることができる。

【0005】図4は、シースルー型の従来のHMDとして、例えば、米国特許第5，035，474号に示されているものを示す。このHMD100は、画像表示面101に画像を表示するCRTと、画像表示面101から出射された表示光101aを中間結像面102に結像させるプリズムシステム103およびリレーレンズ104と、中間結像面102から発散光となった表示光101aを略平行光束にして観察者の眼Eに入射するホログラ

ムコンバイナ１０５とを有する。この中間結像面１０２は、観察者が平面の虚像１０７を観察できるように、歪曲した面で構成されている。また、プリズムシステム１０３およびリレーレンズ１０４の光軸と外界の光景１０６より出射される水平の外界光１０６ａとのなす角度θ_1は、５８°に設定され、ホログラムコンバイナ１０５の法線軸ＬＸとリレーレンズ１０４の光軸とのなす角度、即ち、リレーレンズ１０４からの表示光１０１ａのホログラムコンバイナ１０５への入射角θ_2は、２７．７６°に設定され、ホログラムコンバイナ１０５の法線軸ＬＸとリレーレンズ１０４からの表示光１０１ａの回折光１０１ｂおよび外界光１０６ａの透過光１０６ｂとのなす角度、即ち、反射角θ_3は３０．２４°に設定されている。また、ホログラムコンバイナ１０５は傾斜角度θ_4として、５９．７°だけ傾けて図示されていないバイザー上に設置されている。

【０００６】以上のＨＭＤ１００において、画像表示面１０１に表示された画像の表示光１０１ａは、プリズムシステム１０３およびリレーレンズ１０４を透過することにより中間結像面１０２に収束して中間像として結像する。中間結像面１０２の中間像は、発散光となってレンズ作用を有するホログラムコンバイナ１０５によって略平行光束の回折光１０１ｂにされて観察者の眼Ｅに入射する。光景１０７の外界光１０６は、ホログラムコンバイナ１０５を透過して透過光１０６ｂとして観察者の眼Ｅに入射する。従って、観察者は、無限遠にＣＲＴの画像表示面１０１からの画像表示光１０１ａに基づく平面の虚像１０７を外界の光景１０６に重畳して観察することができる。このとき、表示光１０１ａの回折光１０１ｂおよび外界光１０６ａの透過光１０６ｂの光量は減少しない。

【０００７】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のＨＭＤ１００によると、平面の虚像１０７を得るためにプリズムシステム１０３およびリレーレンズ１０４からなる複雑なレンズ系を用いているため、ディスプレイが大型化するという欠点がある。また、解像度を上げるためには、ＣＲＴを大きくする必要があるが、ＣＲＴを大きくすると、プリズムシステム１０３およびリレーレンズ１０４からなる複雑なレンズ系も大きくなり、スペースの制約より解像度の向上に限界があるという欠点がある。また、ホログラムコンバイナ１０５は、単色用のものであるため、カラー対応が難しいという欠点がある。

【０００８】従って、本発明の目的は、小型で高解像度のヘッドマウンテッドディスプレイを提供することにある。また、本発明の他の目的は、カラー化が容易なヘッドマウンテッドディスプレイを提供することにある。

【０００９】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するため、画像表示光を出射する画像表示手段と、前

記画像表示手段からの前記画像表示光を縮小して出射端面から出射する光ファイバー束と、前記光ファイバー束の前記出射端面からの前記画像表示光を回折あるいは反射させて前記装着者の眼に導き、前記装着者に前記画像表示光に基づく虚像を視認させる眼前光学手段を備えたことを特徴とするヘッドマウンテッドディスプレイを提供する。

【００１０】

【発明の実施の形態】図１は、本発明の第１の実施の形態に係るヘッドマウンテッドディスプレイ（以下「ＨＭＤ」という。）を示し、同図(a) はその側面図、同図(b) はその光学系を示す図である。このＨＭＤ１は、頭部に装着されるヘルメット２を備えたヘルメット型ＨＭＤであり、ヘルメット２の前方部２ａの内部には、表示光３ａを出射する画像表示手段としてのバックライト付きの液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）３と、ＬＣＤ３からの表示光３ａを縮小して出射するファイバーオプテックスプレート（ＦＯＰ）４とが配置されている。これらのＬＣＤ３およびＦＯＰ４は、ホルダ５によって前方部２ａに保持されている。また、視軸Ｅａ上には、ＦＯＰ４からの表示光３ａを回折させて回折光３ｂとして装着者の眼Ｅに導く眼前光学手段としてのホログラムコンバイナ６が配置されている。このホログラムコンバイナ６は、取付部材７によって前方部２ａに取り付けられている。

【００１１】ＬＣＤ３は、例えば、１２００×２４００の２８８万画素を備え、２．８インチの４０ｍｍ×５６ｍｍのサイズを有している。なお、画像表示手段としては、他に、反射型のＬＣＤ、ＥＬディスプレイ、プラズマディスプレイ、あるいは、マイクロマシン技術によって作製されたマイクロ可動ミラーを用いたディスプレイ等を用いることができるが、これらの中でＬＣＤが小型化点で好ましい。

【００１２】ＦＯＰ４は、ＬＣＤ３からの表示光３ａを所定の縮小率、例えば１／３に縮小して出射するように構成されている。すなわち、ＦＯＰ４は、入射側の太さが６μｍ、出射側の太さが２μｍのテーパー比３：１の形状を有する７９２０万本の光ファイバー４０を束ねて構成されている。また、このＦＯＰ４は、入射端面４ａがＬＣＤ３に密着し、入射端面４ａのサイズがＬＣＤ３と同一の４０ｍｍ×５６ｍｍ、出射端面４ｂのサイズが約１３．２ｍｍ×１８．８ｍｍとなっている。また、出射端面４ｂは、装着者がホログラムコンバイナ６の前方に形成される虚像９が平面で観察できるように歪曲した面、例えば略凸球面となっている。

【００１３】ホログラムコンバイナ６は、パイレックスガラス、ソーダガラス等のガラス、あるいはプラスチック等からなる透明あるいは半透明の基板６０と、この基板６０の主面（例えば、ＬＣＤ３からの表示光３ａが入射する面と反対の面）６０ａに形成されたホログラム膜６１とを備えている。ホログラム膜６１は、基板６０の

主面６０ａに、ホログラム感光材料を塗布し、後述する方法で形成される。このホログラム感光材料には、例えば、フォトポリマー、フォトレジスト、フォトクロミック、フォトダイクロミック、銀塩乳剤、重クロム酸ゼラチン、ダイクロメートゼラチン、プラスチック、強誘電体、磁気光学材料、電気光学材料、非晶質半導体、フォトリフラクティブ材料等が用いられる。なお、表面にホログラム膜６１を保護する保護膜を被着してもよい。この保護膜には、非晶質ポリオレフィン、ポリカーボネート（ＰＣ）、ポリメチルメタアクリレート（ＰＭＭＡ）、パーフルオロアルコキシポリエチレン（ＰＦＡ）等が用いられる。また、本実施の形態では、ホログラムコンバイナ６は、装着者の眼Ｅに向けて凹状を有しているが、平坦な形状であってもよい。

【００１４】ホログラム膜６１は、小さな非対称光学系を構成している。すなわち、ホログラム膜６１は、視軸Ｅａと一致する第１の光軸６１ａと、第１の光軸６１ａに対し、例えば、５８°の角度θ_1の第２の光軸６１ｂを有している。なお、ホログラムコンバイナ６の法線軸ＬＸとＬＣＤ３およびＦＯＰ４の光軸とのなす角度、即ち、ＦＯＰ４からの表示光３ａのホログラムコンバイナ６への入射角θ_2は、例えば、２７．７６°に設定され、ホログラムコンバイナ６の法線軸ＬＸとＦＯＰ４からの表示光３ａの回折光３ｂおよび外界光８ａの透過光８ｂとのなす角度、即ち、反射角θ_3は、例えば、３０．２４°に設定されている。また、ホログラムコンバイナ６は傾斜角度θ_4として、５９．７°だけ傾けてヘルメット２に取り付けられている。

【００１５】図２は、ホログラム膜６１を作製するホログラム膜作製装置を示す。このホログラム膜作製装置１０は、Ｈｅ−Ｎｅレーザ１１、第１，第２および第３のミラー１２Ａ，１２Ｂ，１２Ｃ、ハーフミラー１３、第１および第２の拡大レンズ１４Ａ，１４Ｂ、およびコリメータレンズ１５を備える。

【００１６】まず、基板６０の主面６０ａにホログラム感光材料として、例えば、フォトポリマー６ａをスピンコートする。このとき、回転スピード等を制御することにより、膜厚が均一なフォトポリマー６ａを形成する。次に、フォトポリマー６ａが形成された基板６０を図２に示す所定の位置に配置する。ホログラム膜作製装置１０のＨｅ−Ｎｅレーザ１１からレーザビーム１１ａを出射させると、そのレーザビーム１１ａは第１のミラー１２Ａで曲げられた後、ハーフミラー１３で２つのビーム１３ａ，１３ｂに分けられる。ハーフミラー１３を透過したビーム１３ａは、第２のミラー１２Ｂで曲げられた後、第１の拡大レンズ１４Ａで発散波に変換された後、コリメータレンズ１５によって平面波に変換される。ハーフミラー１３で反射したもう一方のビーム１３ｂは、第３のミラー１２Ｃで曲げられた後、第２の拡大レンズ１４Ｂによって発散波に変換される。その発散波は、発

散波の光軸とＺ軸とのなす角度θ_1が図１(b) に示す角度θ_1と同じ角度でフォトポリマー６ａの裏側から入射する。フォトポリマー６ａの表側から入射するビーム１３ａと、フォトポリマー６ａの裏側から入射するビーム１３ｂは、フォトポリマー６ａ上で干渉縞を形成する。フォトポリマー６ａ上に形成された干渉縞は、現像工程を経てホログラムが記録され、ホログラム膜６１が完成する。なお、ホログラム膜６１を平面波と発散波で作製する方法を述べたが、収束波と発散波でも作製することができる。

【００１７】次に、第１の実施の形態に係るＨＭＤ１の動作を説明する。図示しない画像供給装置から画像信号がＬＣＤ３に供給されると、ＬＣＤ３は、バックライトに基づいて、画像信号に応じた表示光３ａを出射する。この表示光３ａは、ＦＯＰ４によって伝送され、出射端面４ｂに中間像として結像する。出射端面４ｂの中間像は、発散光となってレンズ作用を有するホログラムコンバイナ６によって略平行光束の回折光３ｂにされて装着者の眼Ｅに入射する。光景８の外界光８ａは、ホログラムコンバイナ６を透過して透過光８ｂとして装着者の眼Ｅに入射する。従って、装着者は、無限遠にＬＣＤ３からの表示光３ａに基づく平面の虚像９を外界の光景８に重畳して観察することができる。

【００１８】次に、上述した第１の実施の形態に係るＨＭＤ１の効果を説明する。

(イ) ＦＯＰ４の出射端面４ｂが中間像結像面になるので、レンズ系を使用して中間結像面を形成する必要がなくなり、さらに、ヘルメット２に、ＬＣＤ３，ＦＯＰ４およびホログラムコンバイナ６を内蔵させることができるため、ＨＭＤ１の小型化が図れる。

(ロ) ＬＣＤ３からの表示光３ａをＦＯＰ４によって縮小しているので、画素数の多いＬＣＤ３を用いることができることから、高解像度の虚像９を表示することができる。

(ハ) ＦＯＰ４の出射端面４ｂが虚像９の収差を補正する形状となっているので、平面の虚像９を視認することができる。

(ニ) 本ＨＭＤ１を航空機用のＨＭＤに適用した場合は、外界と飛行情報を同時に視認することができ、自動車用のＨＭＤに適用した場合は、外界と交通情報を同時に視認することができるので、飛行中あるいは走行中に優れた瞬読性を発揮することができる。

【００１９】図３は、本発明の第２の実施の形態に係るＨＭＤを示し、同図(a) はその側面図、同図(b) はその光学系を示す図である。このＨＭＤ１は、ヘッドバンド２０によって頭部Ｈに装着されるゴーグル２１を備えたゴーグル型ＨＭＤのものであり、ゴーグル２１の上部２１ａの内部には、視軸Ｅａに直交する表示光を出射する画像表示手段としてのバックライト付きのＬＣＤ３と、ＬＣＤ３からの表示光３ａを縮小して出射するＦＯＰ４

とが配置されている。これらのLCD3およびFOP4は、ホルダ5によって上部21aに保持されている。また、視軸Ea上には、装着者の眼Eに凹面を向けて配置された拡大機能を有する眼前光学手段としての凹面ハーフミラー62と、装着者の視軸Eaに対して45度の角度で配置され、FOP4からの表示光3aを凹面ハーフミラー62へ反射させてその凹面ハーフミラー62でさらに反射した表示光を装着者の眼Eに導く眼前光学手段としてのハーフミラー63とが配置されている。凹面ハーフミラー62は、ゴーグル21の前方の開口部21bに設けられ、ハーフミラー63は、前部21bの内部に設けられている。

【0020】LCD3は、ゴーグル21に収容するために、第1の実施の形態よりも小型なサイズ、例えば、600×1200の72万画素を備え、1．4インチの20mm×28mmのサイズを有している。

【0021】FOP4は、入射側の太さが6μm、出射側の太さが2μmのテーパー比3：1の形状を有する1980万本の光ファイバー40を束ねたものであり、入射端面4aがLCD3に密着し、入射端面4aのサイズがLCD3と同一の20mm×28mm、出射端面4bのサイズが約6．6mm×9．4mmとなっている。また、FOP4は、第1の実施の形態と同様に、出射端面4bが、装着者が平面の虚像9を観察できるように歪曲した面となっている。

【0022】次に、第2の実施の形態に係るHMD1の動作を説明する。図示しない画像供給装置から画像信号がLCD3に供給されると、LCD3は、バックライトに基づいて、画像信号に応じた表示光3aを出射する。この表示光3aは、FOP4によって伝送され、出射端面4bに中間像として結像する。出射端面4bの中間像は、発散光となってハーフミラー63に入射し、その反射光3cがハーフミラー63で反射して拡大機能を有する凹面ハーフミラー62に入射し、その一部が反射して集束光3dにされ、ハーフミラー63を透過して透過光3eとして装着者の眼Eに入射する。光景8の外界光8aは、凹面ハーフミラー62aおよびハーフミラー63を透過して透過光8bとして装着者の眼Eに入射する。従って、観察者は、無限遠にLCD3からの表示光3aに基づく拡大された平面の虚像9を外界の光景8に重畳して観察することができる。

【0023】次に、本発明の第3の実施の形態に係るHMDについて説明する。この第3の実施の形態は、図1に示す第1の実施の形態に係るHMD1をカラー化してものであり、他は第1の実施の形態と同様に構成されている。この第3の実施の形態は、赤（R），緑（G），青（B）の三原色光からなる表示光を出射するカラーLCDを用い、R，G，Bの三原色光に対応したホログラムコンバイナ6を用いる。R，G，Bの三原色光に対応したホログラムコンバイナ6を作製するには、図2に示すホログラム膜作製装置10において、He－Neレーザ11の代わりに、R用としてヘリウムネオンレーザ（632．8nm）を用いてホログラムを記録し、G用としてYAG－SHGレーザ（532nm）を用いてホログラムを記録し、B用としてアルゴンレーザ（488nm）を用いてホログラムを記録する。この第3の実施の形態によれば、小型でありながら、カラーの虚像を表示することができる。

【0024】なお、本発明は、上記実施の形態に限定されず、種々な形態が可能である。例えば、図3の構成において、凹面ハーフミラー62を設けず、FOP4からの表示光3aを装着者の眼Eに反射させるように視軸Eaに対して45度の角度でハーフミラー63を配置してもよい。また、上記実施の形態では、シースルー型について説明したが、クローズ型にしてもよい。この場合は、外界光が装着者の眼に入らないように基板の外側の面（LCDからの表示光が入射する面と反対の面）に遮光シートを貼ってもよく、ヘルメットやゴーグル等の他の部材で基板全体を覆ってもよい。また、第1の実施の形態では、基板の外側の面にホログラム膜を形成したが、基板の内側の面に形成してもよい。

【0025】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明によれば、光ファイバー束を用いることで、レンズ系を用いなくても所望の中間結像面を得ることができるので、小型化が図れる。また、画像表示手段からの画像表示光を光ファイバー束によって縮小しているので、画素数の多い画像表示手段を用いることができることから、高解像度の虚像を表示することができる。この結果、カラー化が容易となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るHMDを示し、(a) はその側面図、(b) はその光学系を示す図である。

【図2】第1の実施の形態に係るホログラム膜作製装置の概略構成図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態に係るHMDを示し、(a) はその側面図、(b) はその光学系を示す図である。

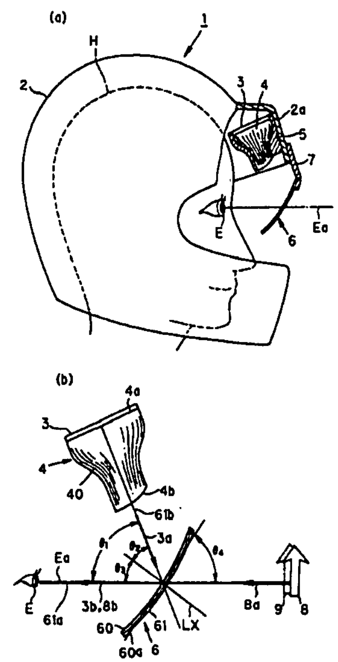
【図4】従来のHMDの構成図である。

【符号の説明】

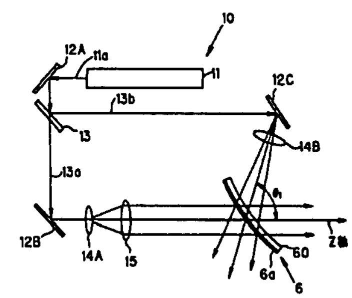
1　ヘッドマウンテッドディスプレイ（HMD）
2　ヘルメット2
2a　前方部
3　液晶ディスプレイ（LCD）
3a　表示光
3b　回折光
3c　反射光
3d　集束光
3e　透過光

4　ファイバーオプテックスプレート（FOP）
4a　入射端面
4b　出射端面
5　ホルダ
6　ホログラムコンバイナ
7　取付部材
8　光景
8a　外界光
8b　透過光
9　虚像
10　ホログラム膜作製装置
11　He－Neレーザ
12A，12B，12C　ミラー
13　ハーフミラー
14A，14B　拡大レンズ
15　コリメータレンズ
20　ヘッドバンド
21　ゴーグル
21a　上部
21b　開口部
21b　前部
40　光ファイバー
60　基板
60a　主面
61　ホログラム膜
61a　第1の光軸
61b　第2の光軸
62　凹面ハーフミラー
63　ハーフミラー
E　眼
H　頭部

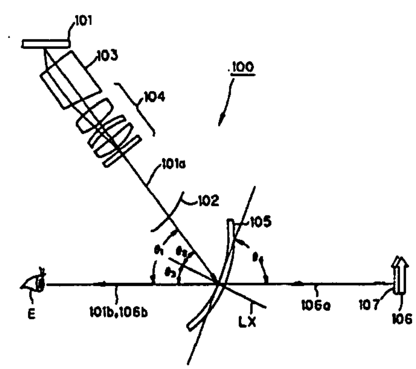
【図1】



【図2】

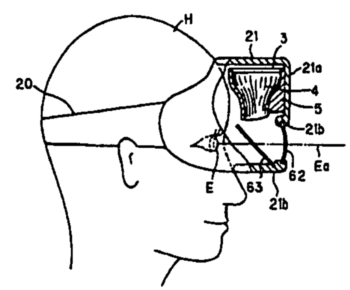


【図4】

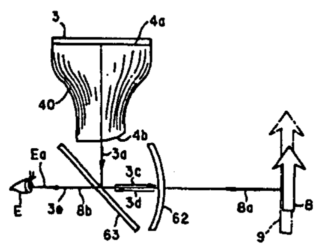


【図3】

(a)


H
20
21
3
21a
4
5
21b
Ea
62
E
63
21b

(b)


3
4a
40
4b
3a
Ea
3c
3d
E
3e
8b
63
62
8a
8
9

A Translati n of Substantially the Whole f Japanese Patent Applicati n Laid-Open No. H10-319343 (Laid-Open on December 4, 1998)

[Title of the Invention]

Head-Mounted Display

[Abstract]

[Object] To provide a compact and high resolution head-mounted display that readily achieves projection of color images.

[Features] If an image signal is fed to an LCD 3 from an image feeder, the LCD 3 emits, in accordance with backlight, display light 3a corresponding to the image signal. The display light 3a is conveyed by an FOP 4 and focused on an exit end face 4b as an intermediate image. The intermediate image formed on the exit end face 4b becomes divergent light, then is converted into diffracted light 3b composed of substantially parallel beams by a hologram combiner 6 having a function as a lens element, and then enters a user's eye E. The external light 8a from a view 8 passes through the hologram combiner 6, and enters the user's eye E as transmitted light 8b. Therefore, the user can infinitely observe a flat virtual image 9 formed in accordance with the display light 3a emitted from the LCD 3 while superimposing it on the outside view 8.

[Claims]

[Claim 1] A head-mounted display comprising:

an image display means for emitting display light;

a bundle of optical fibers that makes the display light emitted from the image display means exit from an exit end face while reducing it; and

an in-front-of-eye optical means that directs the display light exited from the exit end face of the bundle of optical fibers to the user's eye by diffracting or reflecting it so as to permit a user to observe a virtual image formed in accordance with the display light.

[Claim 2] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the in-front-of-eye optical means directs external light to the user's eye.

[Claim 3] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the in-front-of-eye optical means is provided with a substrate made of transparent or semitransparent glass, plastics, or the like, and a hologram film formed on a principal plane of the substrate.

[Claim 4] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the in-front-of-eye optical means is obliquely arranged relative to a visual axis of the user's eye at 45°, and directs the image light exited from the bundle of optical fibers to the user's eye by reflecting it.

[Claim 5] A head-mounted display as claimed in claim 4,

wherein the in-front-of-eye optical means is provided with a concave mirror concave to the user's eye, and a mirror obliquely arranged relative to the visual axis of the user's eye at 45° that reflects the image light exited from the bundle of optical fibers toward the concave mirror in order to direct the image light reflected on the concave mirror to the user's eye.

[Claim 6] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the bundle of optical fibers includes the exit end face having a predetermined shape suitable for correcting aberrations of a virtual image.

[Claim 7] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the bundle of optical fibers has an incident end face closely attached to the image display means.

[Claim 8] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the bundle of optical fibers is composed of a larger number of optical fibers than pixels of the image display means.

[Claim 9] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the image display means emits color display light.

[Claim 10] A head-mounted display as claimed in claim 3,

wherein the image display means emits color display light, and the hologram

film is formed by recording a hologram in accordance with the color display image.

[Claim 11] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the image display means is realized as a liquid crystal display, an EL display, a plasma display, or a display using a micro-variable mirror made by a micromachining method.

[Claim 12] A head-mounted display as claimed in claim 1,

wherein the image display means, the bundle of optical fibers, and the in-front-of-eye optical means are equipped to a goggle or helmet.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

The present invention relates to a head-mounted display such as goggle- or helmet-type, and more particularly to a head-mounted display that is compact and high resolution.

[0002]

[Prior Art]

As a compact image display that permits observation of images while being mounted on a head, for example, a head-mounted display (HMD) is widely known. In an HMD, an image display portion composed of an image display device such as a liquid crystal display (LCD), and an image transmission portion comprising a lens element and a mirror having an aberration correcting function and a magnifying function are arranged in front of an observer's eye. And the image display portion and the image transmission portion are fixed on a head with a mounting tool such as a belt. If a dynamic image is displayed on the image display device of the image display portion, owing to the aberration correcting function and the magnifying function of the lens element and the mirror, the displayed dynamic image is projected on a large virtual screen at a place easy to see, and then is observed by a user.

[0003]

Several HMDs of this type have been developed and manufactured including a display for use in an airplane for displaying flight information such as its altitude and speed, and a display for use in a personal theater for displaying movies, TV games, or images of virtual reality. In recent years, a study for a display for use in a portable computer (wearable computer) has been launched.

[0004]

There are two types of such HMD, namely a see-through type HMD that permits observation of outside, and a close-type HMD that prohibits observation of outside. In a field of artificial reality, in some cases, it is desirable to use a close-type HMD; however, for use as a portable display, a see-through type HMD is more desirable generally. In addition to the image display portion and the image transmission portion, the see-through type HMD is provided with a beam combiner having a see-through function. This beam combiner exhibits a strong wavelength selectivity against a specific wavelength, and this makes it possible to reflect or diffract only the light having the specific wavelength. Therefore, it is possible to observe an image while superimposing display light 100% consisting of the specific wavelength on 100% of the external light excluding the specific wavelength.

[0005]

Fig. 4 shows, as an example of conventional HMD, an HMD disclosed in United States Patent No. 5,035,474. This HMD 100 includes a CRT for displaying an image on an image display surface 101, a prism system 103 and a relay lens 104 for imaging image light 101a exited from the image display surface 101 on an intermediate image plane 102, and a hologram combiner for making the display light 101a exited from the intermediate image plane 102 as divergent light become a parallel pencil of rays and enter an observer's eye E. The intermediate image plane 102 is formed as a distorted surface for enabling an observer to observe a flat virtual image 107. The angle θ_1 which the optical axis of the prism system 103 and the relay lens 104 makes with horizontal external light 106a exiting from an external view 106 is set at 58°; the angle formed between the normal line axis LX of the hologram combiner 105 and the optical axis of the relay lens 104, in other

words, the incident angle θ_2 of the display light 101a entering the hologram combiner 105 from the relay lens 104, is set at 27.76°; and the angle which the normal line axis LX of the hologram combiner 105 makes with diffracted light 101b of the display light 101a exited from the relay lens 104 and transmitted light 106b of the external light 106a, i.e. a reflection angle θ_3, is set at 30.24°. The hologram combiner 105 is obliquely arranged on an unillustrated visor, as an inclination angle θ_4, at 59.7°.

[0006]

In the above-mentioned HMD 100, by passing through the prism system 103 and the relay lens 104, the display light 101a emitted from the image displayed on the image display surface 101 is focused on the intermediate image plane 102 as an intermediate image. The intermediate image formed on the intermediate image plane 102 becomes divergent light, then is made to be diffracted light 101b composed of a substantially parallel pencil of rays, and then enters the observer's eye E. The external light 106 of the view 107 passes through the hologram combiner 105, and enters the observer's eye E as transmitted light 106b. Therefore, the observer can infinitely observe a flat virtual image 107 formed in accordance with the display light 101a emitted from the image display surface 107 of a CRT while superimposing it on the external view 106. Here, the diffracted light 106b of the display light 101 and the transmitted light 106a of the external light 106a are not decreased in terms of the quantity of light.

[0007]

[Problems to be Solved by the Invention]

However, the conventional HMD 100 uses a complicated lens system composed of the prism system 103 and the relay lens 104 for obtaining a flat virtual image 107, and therefore it has disadvantage of becoming unduly large. In order to improve its resolution, the display requires a larger CRT; however, if the CRT becomes larger, the complicated lens system composed of the prism system 103 and the relay lens 104 also becomes larger, and therefore the conventional HMD has disadvantage of having a limitation in improving resolution thereof because of

its spatial restriction. Furthermore, because the hologram combiner 105 is of a single color, it is difficult to offer color images.

[0008]

An object of the present invention is to provide a compact and high-resolution head-mounted display. Another object of the present invention is to provide a head-mounted display readily achieves projection of color images.

[0009]

[Means for Solving the Problem]

To achieve the above object, the present invention provides a head-mounted display comprising: an image display means for emitting display light; a bundle of optical fibers that makes the display light emitted from the image display means exit from an exit end face while reducing it; and an in-front-of-eye optical means that directs the display light exited from the exit end face of the bundle of optical fibers to the user's eye by diffracting or reflecting it in such a manner that permits a user to observe a virtual image formed in accordance with the display light.

[0010]

[Embodiments of the Invention]

Figs. 1(a) and 1(b) show a head-mounted display (hereinafter, referred to as an HMD) of a first embodiment of the present invention, in which Fig. 1(a) is a side view thereof and Fig. 1(b) shows the optical system thereof. This HMD 1 is a helmet-type HMD having a helmet 2 mountable on a head. And, inside of a front portion 2a of the helmet 2, a liquid crystal display (LCD) 3 equipped with a backlight that serves as an image display means for emitting display light 3a, and a fiber optics plate (FOP) 4 that emits the display light 3a received from the LCD 3 while reducing it are arranged . The LCD 3 and the FOP 4 are held in the front portion 2a by a holder 5. On a visual axis Ea, a hologram combiner 6 is arranged as an in-front-of-eye optical means that diffracts the display light 3a emitted from the FOP 4 and directs it to the user's eye E as diffracted light 3b. This hologram combiner 6 is attached in the front portion 2a by a attaching member 7.

[0011]

For example, the LCD 3 is provided with 2,880,000 pixels (1200 × 2400) and has a size of 2.8-inch (40 mm × 56 mm). As an image display means, it is also possible to use such as a reflection-type LCD, an EL display, a plasma display, or a display using a micro-variable mirror made by a micromachining method; however, among which, an LCD is the most preferable from the perspective of miniaturizing the display.

[0012]

The FOP 4 is so designed as to emit the display light 3a received from the LCD 3 while reducing it at a predetermined reduction ratio, e.g. 1/3. In other words, the FOP 4 is made by bundling 79,200,000 of optical fibers having the diameters of 6 μm in its incident side and 2 μm in its exit side, of which taper ratio is 3:1. The FOP 4 has an incident end face 4a closely attached to the LCD 3. Here, the size of the incident end face 4a is identical to that of the LCD, namely 40 mm × 56 mm, and the size of the exit end face 4b is 13.2 mm × 18.8 mm. The exit end face 4b is formed as a distorted surface such as a substantially convex spherical surface for enabling a user to observe a virtual image 9 formed ahead of the hologram combiner 6 as a flat image.

[0013]

The hologram combiner 6 is provided with a transparent or a semitransparent substrate 60 made of glass such as PYREX glass or soda glass, plastics, or the like, and a hologram film 61 formed on the principal surface 60a (e.g. the face opposite to which the display light 3a from the LCD 3 enters) of the substrate 60. The hologram film 61 is made by applying a holographic photosensitive material to the substrate 60 and following the steps described below. As the holographic photosensitive material, it is also possible to use, for example, photopolymer, a photoresistive material, a photochromic material, a photodichromic material, silver salt emulsion, dichromic acid gelatin, dichromate gelatin, plastics, a ferroelectric substance, a magneto-optical material, an electro-optical material, an amorphous semiconductor, or a photorefractive material. A protective coat may be deposited on the surface thereof for protecting the hologram

film 61. As the protective coat, it is possible to use amorphous polyolefine, polycarbonate (PC), polymethyl methacrylate (PMM), perfluoro alkoxide polyethylene (PFA), or the like. In the HMD embodying the present invention, the hologram combiner 6 is concave to the user's eye E; however, it can be a flat surface.

[0014]

The hologram film 61 forms a small asymmetric optical system. In other words, the hologram film 61 has a first optical axis 61a coinciding with the visual axis Ea, and a second optical axis 61b inclined to the first optical axis at θ_1, for example, 58°. Here, the angle which the normal line axis LX of the hologram combiner 6 makes with the optical axis of the LCD 3 and the FOP 4, in other words, an incident angle θ_2 of the display light 3a entering the hologram combiner 6 from the FOP 4, is set at, for example, 27.76°; and the angle which the normal line axis LX of the hologram combiner 6 makes with diffracted light 3b of the display light 3a exited from the FOP 4 and transmitted light 8b of the external light 8a, i.e. a reflection angle θ_3, is set at, for example, 30.24°. The hologram combiner 6 is obliquely mounted on the helmet 2, as an inclination angle θ_4, at 59.7°.

[0015]

Fig. 2 shows a hologram-film-manufacturing device for manufacturing the hologram film 61. The hologram-film-manufacturing device 10 is provided with an He-Ne laser 11, a first, a second, and a third mirror 12A, 12B, and 12C, a half mirror 13, a first and a second magnifying lens 14A and 14B, and a collimeter lens 15.

[0016]

First, on the principal surface 60a of the substrate 60, as a holographic photosensitive material, for example, photopolymer 6a is spin-coated. Here, it is possible to form a film of photopolymer 6a having an even thickness distribution by controlling the rotational speed and others. Then, the substrate 60 with the photopolymer 6 formed thereon is disposed in the predetermined area as shown in Fig. 2. If a laser beam 11a is emitted from the He-Ne laser of the hologram-film-manufacturing device, the laser beam 11a is turned its direction by the first mirror

12A, and then is split into two beams 13a and 13b by the half mirror 13. The beam 13a passed through the half mirror 13 is turned its direction by the second mirror 12B, then is converted into a divergent wave by the first magnifying lens 14A, and then is converted into a plane wave by the collimeter lens 15. The other beam 13b reflected on the half mirror 13 is turned its direction by the third mirror 12C, and is converted into a divergent wave by the second magnifying lens 14B. The divergent wave enters the photopolymer 6a from the back side thereof in a manner such that the angle θ_1 formed between the optical axis of the divergent wave and the Z-axis is identical to θ_1 shown in Fig. 1(b). The beam 13a entering from the front face of the photopolymer 6a and the beam 13b entering from the back side of the photopolymer 6a form interference fringes on the photopolymer 6a. The interference fringes formed on the photopolymer 6a undergoes a developing process for recording a hologram, and thus the hologram film 61 is obtained. Here, a process for manufacturing the hologram film 61 by using a plane wave and a divergent wave is explained; however, it is possible to manufacture it by using a convergent wave and a divergent wave.

[0017]

Then, the operation of the HMD 1 used in the first embodiment will be explained below. If an image signal is fed to the LCD 3 from an unillustrated image feeder, the LCD 3 emits, in accordance with backlight, display light 3a corresponding to the image signal. The display light 3a is conveyed by the FOP 4 and focused on the exit end face 4b as an intermediate image. The intermediate image formed on the exit end face 4b becomes divergent light, then is converted into diffracted light 3b composed of a substantially parallel pencil of rays by the hologram combiner 6 having a function as a lens element, and then enters the user's eye E. External light 8a of the view 8 is transmitted through the hologram combiner 6, and then enters the user's eye E as transmitted light 8b. Therefore, the user can infinitely observe a flat virtual image 9 formed in accordance with the display light 3a emitted from the LCD 3 while superimposing it on the view 8 of the outside.

[0018]

Then, the advantages of the HMD 1 employed in the first embodiment will be described.

(1) The exit end face 4b of the FOP 4 serves as the intermediate image plane, and this eliminates the need for forming an intermediate image plane by the use of a lens system. Furthermore, since the LCD 3, the FOP 4, and the hologram combiner 6 can be incorporated in the helmet 2, it is possible to miniaturize the HMD 1.

(2) Since the display light 3a emitted from the LCD 3 is reduced by FOP 4, the LCD 3 having a large number of pixels can be used, and this makes it possible to display a high-resolution virtual image 9.

(3) The exit end face 4b of the FOP 4 has a shape suitable for correcting aberrations of the virtual image 9, and this makes it possible to observe the flat virtual image 9.

(4) If this HMD 1 is employed as an HMD for use in an airplane, it is possible to observe outside and flight information simultaneously, and if this HMD 1 is employed as an HMD for use in a vehicle, it is possible to observe outside and traffic information simultaneously. This enables the user to exhibit excellent instantaneous information gathering ability during flight or drive.

[0019]

Figs. 3(a) and 3(b) show an HMD of a second embodiment of the present invention, in which Fig. 3(a) is a side view thereof and Fig. 3(b) shows the optical system thereof. This HMD 1 is a goggle-type HMD having a goggle 21 held on a head with a headband 20. And, in an upper portion 21a of the goggle, an LCD 3 equipped with backlight that serves as an image display means for emitting display light 3a perpendicular to a visual axis, and an FOP 4 that emits the display light 3a received from the LCD 3 while reducing it are arranged. The LCD 3 and the FOP 4 are held in the upper portion 21a by a holder 5. On the visual axis Ea, a concave half mirror 62 concave to the user's eye E is arranged as an in-front-of-eye optical means having a magnifying function, and, a half mirror 63 is arranged as an in-

front-of-eye optical means that is obliquely arranged at 45° relative to the user's visual axis Ea, that makes the display light 3a emitted from the FOP 4 reflect toward the concave half mirror 62, and that directs the display light reflected by the concave half mirror 62 to the user's eye E. The concave half mirror 62 is disposed in an aperture 21b in a front portion of the goggle 21, and the half mirror 63 is held inside of the front portion 21b.

[0020]

In order to be held inside of the goggle 21, the size of the LCD 3, here, is smaller than that of the first embodiment. For example, an LCD having 720,000 pixels (600 × 1200) of which size is 1.4-inch (20 mm × 28 mm) is used.

[0021]

The FOP 4 is made by bundling 19,800,000 of optical fibers having the diameters of 6 μm in its incident side and 2 μm in its exit side, of which taper ratio is 3:1. The FOP 4 has an incident end face 4a closely attached to the LCD 3 of which size is identical to that of the LCD 3, i.e. 20 mm × 28 mm, and has the exit end face 4b of which size is 6.6 mm × 9.4 mm. As in the first embodiment, the exit end face 4b is formed as a distorted surface so that an observer can observe a flat virtual image 9.

[0022]

Then, the operation of the HMD 1 employed in the second embodiment will be explained below. If an image signal is fed to the LCD 3 from an unillustrated image feeder, the LCD 3 emits, in accordance with backlight, display light 3a corresponding to the image signal. The display light 3a is conveyed by the FOP 4 and focused on the exit end face 4b as an intermediate image. The intermediate image formed on the exit end face 4b becomes divergent light and enters the half mirror 63 . Thereafter, the reflected light 3c is reflected from the half mirror 63 and enters the concave half mirror 62 having a magnifying function. Thereafter, a portion thereof becomes focused light 3d upon being reflected, then passes through the half mirror 63, and then enters the user's eye E as transmitted light 3e. The external light 8a of the view 8 passes through the concave half mirror 62a and the

half mirror 63, and then enters the user's eye E as transmitted light 8b. Therefore, the observer can infinitely observe a flat virtual image 9 formed in accordance with the display light 3a emitted from the LCD 3 while superimposing it on the view 8 of the outside.

[0023]

Then, an HMD employed in a third embodiment of the present invention will be explained below. The HMD used in the third embodiment is similar to the HMD 1 in the first embodiment shown in Fig. 1 with exception that it achieves projection of color images. In other respects, the construction here is the same as in the first embodiment. The third embodiment uses a color LCD for emitting display light of three primary colors, namely red (R), green (G), and blue (B), and uses a hologram combiner 6 corresponding to the three primary colors R, G, and B. The hologram combiner 6 corresponding to the three primary colors R, G, and B can be manufactured in the following manner. That is, in the hologram-film-manufacturing device 10 shown in Fig. 2, instead of the He-Ne laser 11, for recording a hologram, a helium-neon laser (632.8 nm) is used for R, a YAG-SHG laser (532 nm) is used for G, and an argon laser (488 nm) is used for B. According to the third embodiment, it is possible to obtain a small-sized display but that nevertheless offers color images.

[0024]

It is to be understood that the present invention may be practiced in any other manner than is specifically described in the embodiments. For example, in the construction shown in Fig. 3, it is possible to eliminate the concave half mirror 62, and, instead, the half mirror 63 is obliquely arranged at 45° relative to the visual axis Ea in order to reflect the display light 3a emitted from the FOP 4 toward the user's eye E. In the above-mentioned embodiment, a see-through type HMD is described; however, a close-type HMD may be used instead. In this case, a light-shielding sheet may be applied to the outside face of a substrate (e.g. the face opposite to which the display light from the LCD enters) for preventing external light from entering the user's eye, and it is also possible to cover the whole

substrate with other member including a helmet, a goggle, or the like. In the first embodiment, a hologram film is formed on the outside face of the substrate; however, it can be formed on the inside face thereof.

[0025]

[Advantages of the Invention]

As described above, according to the present invention, by using optical fibers, it is possible to obtain a desired intermediate image plane without using a lens system, and this helps miniaturize HMDs. Furthermore, since the display light emitted from the image display means is reduced by the bundle of optical fibers, an image display means having a large number of pixels can be used, and this makes it possible to display a high-resolution virtual image. As a result, it is possible to readily achieve projection of color images.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] Diagrams illustrating an HMD of a first embodiment of the present invention, in which (a) is a side view thereof and (b) shows the optical system thereof.

[Fig. 2] A diagram illustrating the outline of the construction of a hologram-film-manufacturing device used in the first embodiment of the present invention.

[Fig. 3] Diagrams illustrating an HMD of a second embodiment of the present invention, in which (a) is a side view thereof and (b) shows the optical system thereof.

[Fig. 4] A diagram illustrating a conventional HMD.

[Reference Numerals]

1	Head-Mounted Display (HMD)
2	Helmet 2
2a	Front Portion
3	Liquid Crystal Display (LCD)
3a	Display Light

3b	Diffracted Light
3c	Reflected Light
3d	Focused Light
3e	Transmitted Light
4	Fiber Optics Plate (FOP)
4a	Incident End Face
4b	Exit End Face
5	Holder
6	Hologram Combiner
7	Attaching Member
8	View
8a	External Light
8b	Transmitted Light
9	Virtual Image
10	Hologram-Film-Manufacturing Device
11	He-Ne Laser
12A, 12B, 12C	Mirrors
13	Half Mirror
14A, 14B	Magnifying Lenses
15	Collimeter Lens
20	Head Band
21	Goggle
21a	Upper Portion
21b	Aperture
21b	Front Portion
40	Optical Fiber
60	Substrate
60a	Principal Surface
61	Hologram Film
61a	First Optical Axis

61b	Second Optical Axis
62	Concave Half Mirror
63	Half Mirror
E	Eye
H	Head